

Kajian Variabilitas CaCO_3 Terlarut Untuk Mengetahui Tingkat Pelarutan dan Penyerapan Karbon Atmosfer Dalam Proses Karstifikasi Kawasan Karst Rembang

Munif Prawira Yudha

munifpy@gmail.com

Eko Haryono

e.haryono@geo.ugm.ac.id

ABSTRACT

Indonesia is expected to have karst denudational with an area of 140.000.000 km^2 . Through the process of karst denudation area in Indonesia, the amount of absorbed carbon dioxide is estimated at 13.482 Gg CO_2 /year. The value of carbon absorption is 13.428 Gg CO_2 /year it only comes from the process of denudational, by adding vegetation components, carbon sequestration rate will be even greater in the karst region. There are still many springs in Rembang karst area which the variability of CaCO_3 and sequestration rate of atmospheric carbon haven't examined in detail. Quantity of discharge flow become one of the factors that affect CO_2 sequestration aggressiveness, the greater discharge flow then the greater CO_2 which can be absorbed. Rembang karst area with an area of about 30,2 km^2 has sequestration rate of CO_2 is 19,45 Gg CO_2 /year. Then the result of denudation rate calculations in the study area is 94,45 $\text{m}^3/\text{year}/\text{km}^2$.

Keywords: Karstification, CaCO_3 , Denudation Rate, Carbon Sequestration.

ABSTRAK

Indonesia diperkirakan memiliki luas area denudasional karst seluas 140.000.000 km^2 . Melalui proses denudasi kawasan karst di Indonesia, jumlah karbondioksida yang terserap diperkirakan mencapai 13.482 Gg CO_2 /tahun. Nilai penyerapan karbon sebesar 13.428 Gg CO_2 /tahun ini hanya berasal dari proses denudasional, dengan menambahkan komponen-komponen vegetasi sebagai penutup lahan, laju penyerapan karbon akan semakin besar pada wilayah karst. Sejauh ini masih banyak mataair yang berada di daerah karst Rembang yang belum dikaji variabilitas CaCO_3 dan laju penyerapan karbon atmosfer (CO_2) secara detail. Besaran debit aliran menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi agresivitas penyerapan karbondioksida (CO_2), semakin besar debit aliran maka semakin besar karbondioksida (CO_2) yang dapat terserap. Kawasan karst rembang dengan luas sekitar 30,2 km^2 memiliki nilai laju penyerapan karbondioksida (CO_2) sebesar 19,45 Gg CO_2 /tahun. Kemudian, hasil perhitungan tingkat pelarutan pada wilayah kajian menghasilkan nilai sebesar 94,45 $\text{m}^3/\text{tahun}/\text{km}^2$.

Kata kunci: Karstifikasi, CaCO_3 , Tingkat Pelarutan, Penyerapan Karbon.

PENDAHULUAN

Bentang lahan karst merupakan kenampakan alam yang banyak dijumpai di wilayah Indonesia. Letaknya tersebar luas di tiap-tiap kepulauan, dari ujung barat hingga ke timur nusantara. Karst merupakan istilah dalam Bahasa Jerman yang diturunkan dari Bahasa Slovenia (kras) yang bermakna lahan gersang berbatu. Menurut Ford dan Williams (2007), karst merupakan suatu wilayah dengan system hidrologi yang khas serta berkembang pada jenis batuan yang mudah larut dan porositas sekunder yang baik. Berkembangnya porositas sekunder dan aliran bawah tanah cenderung menyebabkan kondisi permukaan di wilayah karst menjadi kering dan gersang.

Karst merupakan sumber daya alam non hayati yang tidak dapat diperbaharui karena proses pembentukannya membutuhkan waktu ribuan sampai jutaan tahun. Walaupun terlihat kering dan gersang pada bagian permukaannya, bentuklahan karst memiliki cadangan airtanah yang sangat besar. Air tersebut terletak di bawah permukaan sebagai tampungan air resapan hingga terbentuk sungai bawah tanah. Sama seperti jenis airtanah lainnya, kualitas airtanah di wilayah karst tersimpan dengan baik dalam rongga-rongga batuan ataupun dalam tampungan alami.

Potensi yang terdapat pada bentuk lahan karst selain dari nilai jual pertambangannya adalah peran wilayah karst dalam penyerapan emisi karbon yang berada di atmosfer. Indonesia diperkirakan memiliki luas area denudasional karst seluas 140.000.000 km². Haryono (2011) menyebutkan bahwa melalui proses denudasi kawasan karst di Indonesia, jumlah karbondioksida yang terserap

diperkirakan mencapai 13.482 Gg CO₂/tahun. Terlihat bahwa proses karstifikasi memiliki peran cukup besar dalam kaitannya mengurangi emisi karbon di atmosfer. Nilai penyerapan karbon sebesar 13.428 Gg CO₂/tahun ini hanya berasal dari proses denudasional, dengan menambahkan komponen-komponen vegetasi sebagai penutup lahan, potensi penyerapan karbon akan semakin besar pada wilayah karst (Haryono, *et al.* 2016).

Kajian terhadap potensi bentuklahan karst dalam menyerap karbon atmosfer (CO₂) masih sangat minim. Dilihat dari luasan wilayah karst Indonesia yang cukup besar (140 juta km²), diperlukan perhatian khusus dan intensitas kajian yang menyeluruh. Karst Rembang merupakan salah satu karst yang terdapat di Indonesia yang memiliki potensi penyerapan karbon atmosfer (CO₂) tinggi, sehingga perlu dikaji lebih detail peran dan potensi penyerapan karbon atmosfer (CO₂) pada daerah tersebut.

Sejauh ini masih banyak mataair yang berada di daerah karst Rembang yang belum dikaji variabilitas CaCO₃ dan potensi penyerapan karbon atmosfer (CO₂) secara detail. Diperlukan kajian spasial dan temporal untuk variabilitas CaCO₃ dan potensi penyerapan karbon atmosfer (CO₂) pada setiap mataair, untuk mendukung kedetailan hasil pengukuran potensi penyerapan karbon atmosfer pada daerah karst Rembang. Penyerapan karbon atmosfer (CO₂) pada daerah penelitian berdasarkan tangkapan air yang ber-*outlet* pada masing-masing mataair yang akan diteliti. Melalui interpretasi kondisi aliran airtanah pada mataair akan diperoleh daerah tangkapan air yang masuk pada sistem akuifer karst tersebut. Sehingga dapat diketahui CaCO₃ yang terlarut dan nilai penyerapan karbon atmosfer (CO₂) pada denudasional karst melalui proses

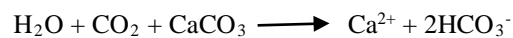
karstifikasi. Potensi penyerapan karbon atmosfer (CO_2) dapat diketahui dengan menghitung terlebih dahulu nilai CaCO_3 yang terlarut.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini berupa metode kuantitatif dengan teknik pengukuran langsung di lapangan. Variabel yang diukur adalah variabel yang mempengaruhi kandungan CaCO_3 terlarut berupa karakteristik fisik air dan tipe kimia air di mataair Sumber Sewu dan beberapa mataair disekitarnya, di Kabupaten Rembang. Dasar dari penentuan tipe kimia airtanah dilakukan dengan tujuan untuk memberikan informasi awal mengenai asal proses serta karakteristik akuifer, terutama material penyusun akuifer yang mengalami kontak langsung dengan airtanah (Chebotarev, 1955 dalam Jankowski, 2002). Penentuan tipe kimia airtanah pada masing-masing mataair perlu dilakukan sebagai bukti bahwa wilayah kajian memiliki sistem akuifer karst. Kegiatan lapangan yang dilakukan adalah pengukuran dan pengambilan sample air. Untuk mencapai tujuan penelitian maka digunakan metode *purposive sampling* dengan variasi waktu yang konstan. *Purposive sampling* dipilih untuk melihat variasi CaCO_3 terlarut secara temporal dan pengaruh variable-variable terhadap penyerapan karbon atmosfer di mataair. Proses pengukuran dan pengambilan sample dilakukan sekurang-kurangnya 4 minggu sekali pada mataair Sumber Sewu; Brubulan; Kajar, dan Sumur Gondang.

Perhitungan nilai CaCO_3 didasarkan dari Hukum Lavosier dengan menggunakan persamaan koefisien muatan. Bila nilai koefisien muatan H_2O , CO_2 , dan HCO_3^- telah diketahui, maka

proses kimia dari proses pelarutan pada karst akan menghasilkan skema:



Metode perhitungan laju penyerapan karbon pada proses karstifikasi dilakukan dengan rumus perhitungan yang dikemukakan oleh Liu, Z. & Zhao J. (2000) dalam jurnalnya mengenai penyerapan karbon pada kawasan karst. Diperlukan data debit aliran mataair dan data HCO_3^- terlarut untuk menghitung laju penyerapan karbon dengan rumus tersebut. Pengukuran HCO_3^- terlarut menggunakan Alkalinity test kit dengan dilakukan titrasi pada saat pengambilan sampel air. Kemudian pengukuran debit aliran mataair dihitung dengan menggunakan metode pelampung. Pengukuran debit aliran mataair hanya dilakukan pada Mataair Sumber Sewu disebabkan kondisi mataair-mataair lainnya yang tidak memungkinkan untuk diukur debitnya.

Berikut rumus perhitungan laju penyerapan karbon pada proses karstifikasi yang dikemukakan oleh Liu, Z. & Zhao J. (2000):

$$F = 1/2 \times \text{HCO}_3 \times Q \times (M \text{ CO}_2 / M \text{ HCO}_3)$$

Dimana :

F = Penyerapan Karbon (g/s)

HCO_3 = Konsentrasi HCO_3 dalam air (g/l)

Q = Debit (l/s)

M CO_2 = Berat Molekul (Mr) CO_2

$M \text{HCO}_3 = \text{Berat Molekul (Mr) } \text{HCO}_3$

Metode perhitungan tingkat pelarutan dilakukan dengan rumus perhitungan yang dikemukakan oleh Corbel (1956) dalam sebuah jurnal mengenai penyerapan karbondioksida pada proses pelarutan karst (Haryono, dkk., 2009). Berikut rumus perhitungan tingkat pelarutan yang dikemukakan oleh Corbel (1956) :

$$V = 4 \times E \times T / 100$$

Dimana :

V = Tingkat Pelarutan ($\text{m}^3/\text{tahun}/\text{km}^2$)

E = *Run-off* (dm)

T = Konsentrasi CaCO_3 Terlarut (mg/l)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Lokasi utama penelitian ini berupa beberapa mataair yang terletak di sekitaran kawasan karst Rembang. Mataair sebagai *output* aliran merupakan salah satu media pembuangan pada akuifer karst yang membawa informasi tentang proses-proses yang terjadi pada zona *input*. Akuifer karst memiliki sifat aliran anisotropis karena terdapat pengaruh dari kontrol geologi yang kuat. Mataair yang dipilih untuk dikaji pada penelitian ini adalah Mataair Sumber Sewu; Mataair Brubulan; Mataair Kajar; dan Sumur Gondang. Mataair tersebut merupakan aliran keluar yang diyakini memiliki *recharge area* di perbukitan karst Rembang. Berikut Gambar 1. berupa peta administratif kajian penelitian sebagian Kabupaten Rembang.



Gambar 1. Peta Administrasi Kecamatan Daerah Penelitian

Penelitian variabilitas kalsium karbonat ini dilakukan pada empat mataair yang berada di tiga desa dalam dua kecamatan bagian timur kabupaten Rembang (BPS Rembang, 2015). Keterdapatn jumlah mataair di dua kecamatan tersebut dan disekitarnya cukup banyak, namun berdasarkan pertimbangan kelayakan dan kesesuaian kajian penelitian ini maka di pilih empat mataair yang terus mengalir sepanjang tahun (*perennial*). Mataair Sumber Sewu dengan debit aliran air yang terlihat paling besar di pilih sebagai mataair utama (*main spring*) dengan mataair Kajar, mataair Brubulan, dan Sumur Gondang sebagai mataair pendukung (*secondary spring*).

Mataair Sumber Sewu dipilih sebagai objek penelitian utama untuk mengetahui “Variabilitas CaCO_3 Terlarut Untuk Mengetahui Tingkat Pelarutan dan Penyerapan Karbon Atmosfer Dalam Proses Karstifikasi”. Pemilihan mataair Sumber Sewu sebagai objek penelitian utama didasarkan dari mudahnya aksesibilitas menuju mataair, tutupan vegetasi yang masih alami disekitar mataair, dan dapat di ukur debitnya secara berkala. Mataair Sumber Sewu merupakan

gabungan beberapa mataair yang mengalir menuju aliran utama sebagai *run-off*. Melihat debit alirannya yang cukup tinggi, mataair Sumber Sewu juga digunakan sebagai sumber air untuk PDAM kabupaten Tuban.

Tipe Kimia Airtanah

Hasil dari uji laboratorium sebanyak 36 sampel air pada masing-masing mataair kajian ditentukan tipe kimia airtanahnya dengan Klasifikasi Szczukariew-Priklonski (Jankowski, 2002). Dasar dari penggunaan klasifikasi tersebut adalah karena memanfaatkan data kandungan kimia mayor dalam air yang juga digunakan dalam analisis lain dalam penelitian ini, serta klasifikasi ini juga lebih sederhana untuk digunakan terhadap sampel dengan berjumlah banyak. Penentuan tipe kimia airtanah dengan Klasifikasi Szczukariew-Priklonski membutuhkan data kandungan ion mayor baik kation maupun anion dalam satuan meq/liter. Kandungan dengan persentase lebih dari 20% digunakan sebagai penentu tipe kimia airtanah tersebut, dengan penulisan anion terlebih dahulu lalu diikuti oleh kation.

Hasil pengklasifikasian dengan metode Szczukariew-Priklonski dalam penentuan tipe kimia airtanah pada masing-masing mataair kajian menunjukkan dominasi kandungan bikarbonat (HCO_3^-) dan kalsium (Ca^{2+}) serta kandungan magnesium (Mg^{2+}) di beberapa waktu. Keterdapatannya kandungan magnesium (Mg^{2+}) di beberapa waktu pengambilan sampel air pada uji laboratorium secara dominan menunjukkan lama waktu kontak air dengan material batuan yang cukup panjang (Hiscock dan Bense, 2014). Lamanya waktu kontak air dengan material batuan terjadi di bulan-bulan pertengahan tahun pada musim kemarau.

Intensitas curah hujan akan menurun pada musim kemarau sehingga kecepatan aliran air juga akan semakin melambat, menjadikan waktu kontak air dengan material batuan semakin memanjang.

Keterdapatannya tiga kandungan kimia yang berada pada kisaran angka 20%, menunjukkan bahwa jenis air dari masing-masing mataair di klasifikasikan sebagai airtanah dengan tipe kimia HCO_3^- -Ca-Mg serta HCO_3^- -Mg-Ca. Airtanah dengan tipe kimia tersebut mengindikasikan bahwa airtanah berasal dari sistem akuifer karst yang mengalami kontak dengan material karbonat pejal dan karbonat dolomitan dengan proses utama berupa pelarutan (*dissolution*). Selain itu jika dilihat dari tipe kimia airtanahnya, karakteristik akuifer dari masing-masing mataair tidak sepenuhnya tersusun atas material karbonat melainkan juga ikut mengalami kontak dengan material lempung. Beberapa mataair muncul karena adanya perlapisan batuan. Bagian atas pada mataair ini mempunyai litologi batu gamping yang permeabel kemudian di bagian bawah berupa batu lempung yang impermeabel. Maka ketika air masuk melalui batu gamping kemudian air keluar ketika bertemu dengan perlapisan di bawahnya yang berupa batu lempung. Kondisi tersebut sesuai dengan kondisi geologi daerah penelitian yang menunjukkan bahwa daerah penelitian didominasi oleh Formasi Paciran tersusun dari material batugamping yang menumpang di atas Formasi Wonocolo tersusun dari material napal dan batu lempung.

Variabilitas CaCO_3

Kajian mengenai kandungan kalsium karbonat (CaCO_3) merupakan

faktor penting dalam keberlangsungan proses pelarutan. Tinggi atau rendahnya kandungan kalsium karbonat (CaCO_3) yang terlarutkan menunjukkan intensifitas tingkat pelarutan pada batugamping. Kandungan kalsium karbonat (CaCO_3) dalam batugamping pada daerah penelitian tersusun dari jenis batugamping terumbu (*bioherm*). Proses pelarutan pada batugamping terumbu (*bioherm*) akan lebih intensif bila dibandingkan dengan batugamping klastik. Jenis penyusun batugamping yang sama antar mataair di daerah penelitian menjadikan nilai kandungan kalsium karbonat (CaCO_3) yang terlarut pada masing-masing mataair tidak terlalu signifikan. Berikut Tabel 1. hasil pengukuran kandungan nilai kalsium karbonat (CaCO_3) pada masing-masing mataair:

Tabel 1. Nilai CaCO_3 (mg/l)

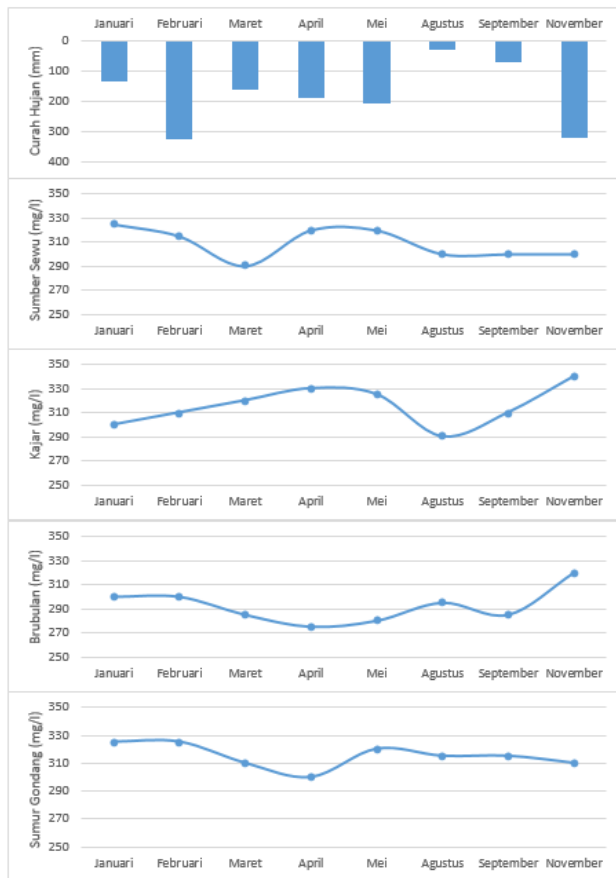
Bulan	Sumber Sewu	Kajar	Brubulan	Sumur Gondang
Januari	325,13	300,12	300,12	325,13
Februari	315,13	310,12	300,12	325,13
Maret	290,12	320,13	285,11	310,12
April	320,13	330,13	275,11	300,12
Mei	320,13	325,13	280,11	320,13
Agustus	300,12	290,12	295,12	315,13
September	300,12	310,12	285,11	315,13
November	300,12	340,14	320,13	310,12
Januari 17	290,12	305,12	275,11	320,13

Sumber: Analisis Data Lapangan, 2017

Kandungan kalsium karbonat (CaCO_3) terlarut pada masing-masing mataair menunjukkan fluktuasi hasil kandungan terlarut secara spasial dan temporal yang kurang signifikan. Perbedaan jumlah kalsium karbonat (CaCO_3) terlarut sangat ditentukan oleh laju pelarutan yang terjadi pada masing-masing daerah tangkapan air. Dilihat secara spasial, jarak antara mataair tidak terlalu jauh dan material batuan penyusun

pada masing-masing mataair tidak terlalu berbeda. Kemudian dilihat secara temporal, curah hujan ketika musim penghujan dan musim kemarau menunjukkan variasi yang berbeda antar bulan namun lokasi keberadaan stasiun hujannya yang kurang representatif. Kondisi jenis aliran pada masing-masing mataair dengan tipe aliran *diffuse* dan masih berkembang menjadikan hasil pelarutan antar mataair cenderung seragam serta masih kurang signifikan.

Sumur Gondang memiliki kandungan nilai kalsium karbonat (CaCO_3) terlarut paling tinggi secara keseluruhan diantara mataair lainnya selama satu tahun penelitian. Secara kondisi fisik, Sumur Gondang memiliki tipe aliran yang statis tidak bergerak karena bentuknya berupa tampungan sedangkang tipe aliran pada mataair lainnya mengalir dinamis. Kandungan kalsium karbonat (CaCO_3) hasil proses pelarutan akan tertampung pada sumur yang kemudian bertambah pekat seiring berjalannya waktu. Tingginya kandungan kalsium karbonat (CaCO_3) terlarut pada Sumur Gondang menunjukkan bahwa laju proses pelarutan berbanding terbalik dengan laju volume aliran. Konsentrasi karbon akan terencerkan pada volume aliran yang besar sedangkan kandungan karbon akan terpekatkan pada volume aliran yang kecil, menjadikan agresifitasnya semakin tinggi dalam melarutkan kalsium karbonat (CaCO_3). Berikut Gambar 2. hubungan kandungan nilai kalsium karbonat (CaCO_3) dengan curah hujan pada masing-masing mataair:



Gambar 2. Variabilitas Spasial dan Temporal CaCO₃ Mataair

Tingkat Pelarutan

Jumlah curah hujan dan nilai konsentrasi kalsium karbonat (CaCO₃) merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat pelarutan pada kawasan karst. Tingkat pelarutan pada kawasan karst di tunjukan dalam satuan kecepatan m³/tahun/km². Satuan tersebut menunjukkan besaran volume pelarutan yang terjadi pada luasan tertentu di kawasan karst dalam kurun waktu satu tahun. Curah hujan menjadi faktor pengontrol sedangkan konsentrasi kalsium karbonat (CaCO₃) menjadi faktor pendorong laju pelarutan. Curah hujan

adalah subjek dari proses pelarutan dan konsentrasi kalsium karbonat (CaCO₃) adalah objek dari proses pelarutan.

Tingkat pelarutan pada masing-masing mataair kajian menunjukkan fluktuasi nilai yang cukup seragam. Hal tersebut dipengaruhi oleh jumlah curah hujan pada wilayah kajian yang sama dan nilai konsentrasi kalsium karbonat (CaCO₃) terlarut yang tidak jauh berbeda. Dilihat dari Tabel 2. Nilai tingkat pelarutan tertinggi terdapat pada Sumur Gondang, yaitu sebesar 97,15 m³/tahun/km² dan nilai tingkat pelarutan terendah terdapat pada mataair Brubulan, yaitu sebesar 89,45 m³/tahun/km², dengan rata-rata nilai tingkat pelarutan sebesar 94,45 m³/tahun/km². Tingginya tingkat pelarutan di Sumur Gondang dipengaruhi oleh besarnya nilai konsentrasi kalsium karbonat (CaCO₃) terlarut pada sumur tersebut.

Tabel 2. Tingkat Pelarutan Mataair Kajian

Mataair	E (dm)	T (mg/l)	V (m ³ /tahun/km ²)
Sumber Semen	7,69	306,79	94,41
Kajar		314,57	96,81
Brubulan		290,67	89,45
Sumur Gondang		315,68	97,15
Total		306,93	94,45

Sumber: Analisis Data Lapangan, 2017

Meskipun Sumur Gondang memiliki tingkat pelarutan yang tinggi namun kecepatan denudasi di Sumur Gondang relatif masih rendah. Kecepatan denudasi pada kawasan karst memiliki hubungan berbanding lurus dengan besarnya debit aliran (Adji, dkk., 2012). Diketahui bahwa Sumur Gondang memiliki besaran debit aliran yang paling rendah jika di bandingkan dengan mataair kajian lain, yaitu hanya sebesar 1 liter/detik. Sumur

Gondang memiliki konsentrasi kalsium karbonat (CaCO_3) yang tinggi namun interval pengangkutannya masih lambat. Interval pengangkutan hasil proses pelarutan dipengaruhi oleh besaran debit aliran. Semakin tinggi besaran debit aliran maka interval pengangkutan hasil proses pelarutan akan semakin cepat. Dengan demikian mataair Sumber Sewu terindikasi memiliki kecepatan denudasi tertinggi jika dibandingkan dengan mataair kajian lainnya. Hal tersebut dipengaruhi oleh mataair Sumber Sewu yang memiliki besaran debit paling tinggi dari mataair kajian lain, yaitu sebesar 532 liter/detik.

Hasil perhitungan tingkat pelarutan pada wilayah kajian kawasan karst Rembang menghasilkan nilai sebesar $94,45 \text{ m}^3/\text{tahun}/\text{km}^2$. Nilai tersebut cukup tinggi jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya mengenai tingkat pelarutan di wilayah karst Gunung Sewu, yaitu sebesar $50,91 \text{ m}^3/\text{tahun}/\text{km}^2$ (Haryono, dkk., 2009). Serta sedikit lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai rata-rata tingkat pelarutan karst di Indonesia, yaitu sebesar $82,9 \text{ m}^3/\text{tahun}/\text{km}^2$ (Haryono, 2011). Namun jika dibandingkan dengan luas wilayah kajian karst Rembang yang hanya sekitar $30,2 \text{ km}^2$ (Wacana, dkk., 2014) dan wilayah karst Gunung Sewu sekitar 1.300 km^2 (Haryono, dkk., 2009), maka nilai tersebut masih cukup berimbang. Masih terdapat beberapa mataair di wilayah kajian yang belum diketahui kandungan kalsium karbonat (CaCO_3) terlarutnya, sehingga perhitungan tingkat pelarutan ini masih bersifat lokal dan belum menyeluruh khususnya pada kawasan karst Rembang.

Penyerapan Karbon

Laju penyerapan karbondioksida (CO_2) di pengaruhi oleh proses karstifikasi pada kawasan karst. Konsentrasi bikarbonat (HCO_3^-) sebagai hasil proses pelarutan batugamping berperan dalam mengikat karbondioksida (CO_2) pada proses karstifikasi. Curah hujan merupakan media pelarut utama dalam proses karstifikasi. Semakin tinggi curah hujan pada suatu kawasan karst maka semakin besar media pelarutnya, sehingga tingkat pelarutan pada batuan karbonat juga semakin besar. Kemudian, temperatur mendorong proses karstifikasi terutama dalam kaitannya dengan aktifitas organisme. Wilayah dengan temperatur yang hangat seperti di wilayah tropis merupakan tempat yang ideal bagi makhluk hidup untuk berkembang yang selanjutnya menghasilkan karbondioksida (CO_2) dengan jumlah besar. Sebagai dasar, kecepatan proses karstifikasi cenderung lebih tinggi bila terpengaruh oleh suhu yang rendah, dikarenakan konsentrasi karbondioksida (CO_2) akan lebih tinggi pada temperatur rendah (Adji, dkk., 2012). Namun untuk wilayah tropis yang hangat tingkat pelarutan pada wilayah tersebut lebih tinggi dikarenakan ketersediaan air hujan yang melimpah dan aktifitas organisme yang lebih banyak.

Proses perhitungan laju penyerapan karbondioksida (CO_2) pada kawasan karst Rembang di gunakan rumus yang dikemukakan oleh Liu dan Zhao (2000), namun dengan skala yang lebih luas data yang diperlukan dalam proses perhitungannya sedikit berbeda. Kandungan konsentrasi bikarbonat (HCO_3^-) dan debit aliran merupakan data-data yang digunakan dalam proses perhitungan laju penyerapan

karbondioksida (CO_2). Kandungan konsentrasi bikarbonat (HCO_3^-) yang diperoleh langsung di lapangan pada empat mataair kajian yang dilakukan sebanyak sembilan kali proses pengambilan data dalam kurun waktu satu tahun digunakan untuk menggambarkan rata-rata kandungan konsentrasi bikarbonat (HCO_3^-) terlarut pada mataair disekitar kawasan karst Rembang secara keseluruhan. Kemudian debit aliran diketahui melalui perkalian antara luas kawasan karst Rembang dan selisih antara rata-rata tebal hujan dengan nilai evapotranspirasi pertahun. Diketahui bahwa kawasan karst Rembang memiliki luas sekitar $30,2 \text{ km}^2$ (Wacana, dkk., 2014) sedangkan selisih antara rata-rata tebal hujan dari tahun 2011 hingga tahun 2016 dengan nilai evapotranspirasi pertahun di daerah penelitian sebesar 477 mm/tahun .

Perhitungan laju penyerapan karbondioksida (CO_2) pada kawasan karst Rembang dinyatakan dalam satuan $\text{Gg CO}_2/\text{tahun}$. Satuan Gg merupakan satuan berat kependekan dari Gigagram. Berat Gigagram sendiri sama halnya dengan berat 1.000 ton . Hasil perhitungan laju penyerapan karbondioksida (CO_2) pada kawasan karst Rembang pada tahun 2016 menghasilkan nilai $19,45 \text{ Gg CO}_2/\text{tahun}$. Berikut Tabel 3. laju penyerapan karbondioksida (CO_2) pada kawasan karst Rembang. Nilai perhitungan laju penyerapan karbondioksida (CO_2) sebesar $19,45 \text{ Gg CO}_2/\text{tahun}$ tidak lebih dari 1 persen dari laju penyerapan karbondioksida (CO_2) di Indonesia, yaitu sebesar $13.482 \text{ Gg CO}_2/\text{tahun}$ (Haryono, 2011). Laju penyerapan karbondioksida (CO_2) pada kawasan karst Rembang memiliki nilai yang tidak cukup tinggi jika dibandingkan dengan kawasan karst di Indonesia dikarenakan luasan kawasan

karst Rembang yang sempit hanya sekitar $30,2 \text{ km}^2$, sedangkan secara keseluruhan luasan karst di Indonesia memiliki luas sebesar $140.000.000 \text{ km}^2$. Selain itu, dikarenakan tipe kimia akuifer pada masing-masing mataair di wilayah kajian tidak sepenuhnya tersusun atas material karbonat melainkan juga ikut mengalami kontak dengan material lempung. Jenis akuifer pada masing-masing mataair yang tidak sepenuhnya tersusun atas material karbonat menjadikan rendahnya kandungan konsentrasi bikarbonat (HCO_3^-) sebagai hasil proses pelarutan batugamping yang berperan dalam mengikat karbondioksida (CO_2).

Tabel 3. Laju Penyerapan CO_2 Terlarut Kawasan Karst Rembang

Lokasi	HCO_3^- (mg/l)	Debit (l/thn)	(Mr) CO_2	(Mr) HCO_3^-	Luas (km^2)	CO_2 (mg/ thn)	CO_2 (Gg/ thn)	CO_2 (Gg/ thn/ km^2)
Kawasan Karst Rembang	374,30	144054 000000	44	61	30	1944 6345 3836 07	19,45	0,64
Kawasan Karst Indonesia	-	-	-	-	140000 000	-	13482	0,000 096

Sumber: Analisis Data Lapangan, 2017

KESIMPULAN

Tinggi atau rendahnya kandungan nilai kalsium karbonat (CaCO_3) yang terlarutkan menunjukkan intensifitas tingkat pelarutan yang terjadi pada batugamping. Secara keseluruhan kandungan nilai kalsium karbonat (CaCO_3) terlarut pada masing-masing mataair selama penelitian paling tinggi berada di Sumur Gondang dengan rerata nilai sebesar $315,68 \text{ mg/l}$, namun puncak nilainya terdapat di mataair Kajar yaitu sebesar $340,14 \text{ mg/l}$. Tingginya kandungan nilai kalsium karbonat (CaCO_3) terlarut pada Sumur Gondang menunjukkan bahwa laju proses pelarutan

berbanding terbalik dengan laju volume aliran. Konsentrasi karbon akan terencerkan pada volume aliran yang besar sedangkan kandungan karbon akan terpekatkan pada volume aliran yang kecil, menjadikan agresifitasnya semakin tinggi dalam melarutkan batugamping.

Besaran debit aliran menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi agresivitas penyerapan karbondioksida (CO_2), semakin besar debit aliran maka semakin besar karbondioksida (CO_2) yang dapat terserap. Kawasan karst rembang dengan luas sekitar 30.2 km^2 memiliki nilai laju penyerapan karbondioksida (CO_2) sebesar $19,45 \text{ Gg CO}_2/\text{tahun}$. Laju penyerapan karbondioksida (CO_2) sebesar $19,45 \text{ Gg CO}_2/\text{tahun}$ tidak lebih dari 1 persen dari laju penyerapan karbondioksida (CO_2) di Indonesia, yaitu sebesar $13.482 \text{ Gg CO}_2/\text{tahun}$. Kemudian, hasil perhitungan tingkat pelarutan pada wilayah kajian menghasilkan nilai sebesar $94,45 \text{ m}^3/\text{tahun}/\text{km}^2$. Nilai tersebut cukup tinggi jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya di wilayah karst Gunung Sewu, yaitu sebesar $50,91 \text{ m}^3/\text{tahun}/\text{km}^2$. Jumlah curah hujan dan nilai konsentrasi kalsium karbonat (CaCO_3) merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat pelarutan pada kawasan karst.

DAFTAR PUSTAKA

- Adji, T. N., Sunariya, M. I. T., Wicaksono, M. Z., 2012. Laju Penyerapan Karbondioksida Daerah Aliran Sungai Bawah Tanah Bribin, Karst Gunungsewu. *Laporan Akhir*. Yogyakarta: Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada.
- Badan Pusat Statistik, 2015. *Kabupaten Rembang Dalam Angka 2015*.
- Corbel J., 1956. A new method for the study of limestone regions, *Revue Canadienne de Geographie*, 10, pp. 240–2.
- Ford, D. and William, P. W., 2007. *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Chicester: John Willey and Sons.
- Haryono, E., 2011. Atmospheric carbon dioxide sequestration trough karst denudation processes, *Proceeding Asian trans-disciplinary Karst Convergence*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Haryono, E., Adji, T.N., Widyastuti, M., dan Trijuni, S., 2009. *Atmospheric Carbondioxide Sequestration Trough Karst Denudation Process : Preliminary Estimation from Gunung Sewu Karst*. Yogyakarta : Kelompok Studi Karst Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.
- Haryono, E., Danardono, Mulatsih, S., Putro, S. T., Adji, T. N., 2016. The Nature of Carbon Flux in Gunungsewu Karst Java-Indonesia. *ACTA CARSOLOGICA*. Yogyakarta : Karst Research Group, Faculty of Geography, Universitas Gadjah Mada.
- Hiscock, K. M. and Bense V. F., 2014. *Hydrogeology Principles and Practice*. Chichester: John Willey and Sons.
- Jankowski, J., 2002. Groundwater Environment, *Short Course Note*. Sydney: School of Geology, University of New South Wales.
- Liu, Z. & Zhao J., 2000, Contribution of carbonate rock weathering to the atmospheric CO_2 sink. *Environmental Geology*. 39, pp. 1053-1058.

Wacana, P., Irfanianto, Rodhialfiah, A., dkk., 2014. Kajian Potensi Kawasan Karst Kendeng Utara Pegunungan Rembang Madura Kabupaten Rembang, Jawa Tengah, *Seminar Nasional Kebumihan*. Yogyakarta : Jurusan Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada.